

บทความวิจัย (Research Article)



การปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดีควบคุมด้วยเครือข่ายลอรา

Improvement of LED Street Light Controlled by LoRaWAN

ณรงค์ นันทกุล¹ สันติ วงศ์ใหญ่² และ กิตตินัน สระสวย^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
²สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
* ผู้รับผิดชอบบทความ
kittinun.s@rmutl.ac.th

Received: 30 May 2024

Revised: 8 Jul 2024

Accepted: 16 Jul 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดีแบบเดิมด้วยแนวคิดเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อให้สามารถควบคุมและติดตามการทำงานของโคมไฟถนนด้วยเครือข่ายลอราแบบส่วนตัว ระบบที่นำเสนอสามารถควบคุมการทำงานและปรับความส่องสว่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยที่ยังคงความปลอดภัย ก่อนที่จะนำต้นแบบไปประยุกต์ใช้จริงภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ โดยผลจากการวิจัยและกำหนดฉากเหตุการณ์หากนำต้นแบบที่ปรับปรุงไปใช้งานทดแทนโคมไฟถนนแอลอีดีเดิมจะทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 14,473.51 บาท คิดเป็นร้อยละที่ประหยัดได้ 25.45% มีระยะเวลาคืนทุนที่ 2 ปี 9 เดือน

คำสำคัญ: เครือข่ายลอรา อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โคมไฟถนน

Abstract

This research presented an improvement of conventional LED street light fixtures using the concept of Internet of Things (IoT) technology to enable control and monitoring of operations through a private LoRa network. The proposed system allowed for the control of brightness levels to increase the efficiency of electricity usage while maintaining safety. Prior to the practical prototype at Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai. The research conducted scenario-based analysis. The results indicated that replacing conventional LED street light fixtures with the enhanced prototype could yield electricity cost savings of 14,473.51 Baht, representing a 25.45% reduction. The payback period for the investment was estimated to be 2 years and 9 months.

Keywords: LoRaWAN, Internet of Things (IoT), Road lighting

1. บทนำ

โคมไฟถนนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการมองเห็นสภาพจราจรในเวลากลางคืนและการเพิ่มความปลอดภัยสาธารณะ แสงสว่างที่ไม่เพียงพออาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและอาชญากรรม [1] อย่างไรก็ตาม การบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในระบบไฟถนนเป็นประเด็นที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากค่าไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนที่สูงถึงหนึ่งในสามของค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการดำเนินการระบบไฟถนน ในการควบคุมความสว่างอย่างมีประสิทธิภาพจึงสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการปรับลดความสว่างในช่วงเวลาที่

เหมาะสมจะช่วยลดทั้งค่าใช้จ่ายและการใช้พลังงานโดยรวมของระบบไฟถนนได้ [2-3] ในปัจจุบัน ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ มีการควบคุมระบบไฟถนนโดยใช้วิธีพื้นฐาน ซึ่งไม่สามารถควบคุมการทำงานของโคมไฟแต่ละดวงได้อย่างอิสระและมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ด้วยเครือข่ายลอรา (LoRaWAN) สำหรับควบคุมไฟถนนจากระยะไกล ครอบคลุมพื้นที่กว้างและใช้พลังงานต่ำ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน มีความปลอดภัยที่ดีขึ้น และมีการตรวจติดตามเพื่อให้ตอบสนองต่อการทำงานที่ผิดปกติได้อย่างทันท่วงที จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมไฟถนนที่มีประสิทธิภาพ

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดีควบคุมด้วยเครือข่ายลอราเป็นการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) มาใช้ในการบริหารจัดการและควบคุมการทำงานของโคมไฟถนนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคโนโลยีลอรา เป็นระบบการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้ในการส่งข้อมูลระยะไกลด้วยพลังงานต่ำ ทำให้เหมาะสมในการนำมาใช้ในระบบควบคุมแสงสว่างในเมือง

การควบคุมการทำงานของโคมไฟถนนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การควบคุมแบบเปิด-ปิดตามเวลาที่กำหนด และการควบคุมแบบปรับความสว่างตามความต้องการ (Dimming Control) โดยการใช้เครือข่ายลอรา ในการส่งข้อมูลคำสั่งจะช่วยให้สามารถควบคุมการทำงานของโคมไฟถนนได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานยังเป็นปัจจัยสำคัญในการลดค่าใช้จ่ายและส่งเสริมความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม

งานวิจัย [4] นำเสนอระบบไฟถนนอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีลอรา โดยมีการติดตั้งเซ็นเซอร์หลายประเภทในแต่ละโคมไฟถนน เช่น Light Dependent Resistor (LDR) สำหรับตรวจจับแสงในเวลากลางวัน, Passive Infrared Resistor (PIR) สำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหว, LM35 สำหรับวัดอุณหภูมิ, และ MQ-7 สำหรับตรวจสอบมลพิษทางอากาศ ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เหล่านี้จะถูกประมวลผลโดย Arduino และส่งผ่านเครือข่ายลอรา

ไปยังเกตเวย์ จากนั้นเกตเวย์จะส่งข้อมูลไปยังคลาวด์เพื่อตรวจสอบและควบคุมแสงสว่าง ระบบนี้สามารถควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนนโดยอัตโนมัติตามข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ และแจ้งเตือนการบำรุงรักษาเมื่อพบปัญหา แต่ก็จะประสบปัญหาด้านความเสถียรของการเชื่อมต่อ และระบบนี้จะสร้างข้อมูลจำนวนมากจากเซ็นเซอร์จึงต้องใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์ที่สูงเพื่อประมวลผลข้อมูลในเวลาจริง

งานวิจัย [5] นำเสนอระบบการวัดมลพิษทางแสงในเมือง ประกอบด้วยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ติดตั้งเทคโนโลยีการสื่อสารลอรา เพื่อรวบรวมข้อมูลจากพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วเมือง อุปกรณ์วัดประกอบด้วย เซ็นเซอร์แสงที่สามารถวัดความเข้มและการกระจายของแสง ชุดข้อมูลที่รวบรวมจากเซ็นเซอร์จะถูกส่งผ่านเกตเวย์ที่เชื่อมต่อกันไปยังเซิร์ฟเวอร์กลาง เพื่อการวิเคราะห์ เทคโนโลยีลอราช่วยให้สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางไกลด้วยการใช้พลังงานต่ำ ทำให้ระบบมีความยั่งยืนและสามารถดำเนินการตรวจสอบระยะยาวได้ ระบบนี้ยังสามารถให้ข้อมูลแบบเรียลไทม์ซึ่งเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงการจัดการและลดมลพิษทางแสงในพื้นที่เมือง

งานวิจัย [6] และ [7] พัฒนาระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้โปรโตคอลการสื่อสาร ZigBee และลอรา ระบบนี้ใช้การรวมกันของเครือข่าย ZigBee และลอราโดยมีเซ็นเซอร์ที่ใช้ ZigBee สองกลุ่มและเซ็นเซอร์ที่ใช้ลอรา อีกสองกลุ่ม ซึ่งจะสื่อสารผ่านตัวแปลงสัญญาณ ZigBee-to-LoRa ไปยังเกตเวย์เครือข่ายลอรา อุปกรณ์ในระบบประกอบด้วยบอร์ดวงจรพิมพ์ที่มีเลเยอร์ต่างๆ รวมถึงเลเยอร์พลังงาน เลเยอร์เซ็นเซอร์ เลเยอร์หน่วยประมวลผล และเลเยอร์การสื่อสาร เซ็นเซอร์ในระบบจะรวบรวมข้อมูลเช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มของแสง แล้วส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านลอรา ไปยังเกตเวย์ สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างลอรา และ ZigBee จะใช้เกตเวย์ที่ออกแบบให้รองรับการทำงานร่วมกันของโมดูล ZigBee XBee S2 และ LoRa SX1278

งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีลอราามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาระบบไฟถนนอัจฉริยะและการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในเมือง โดยมีจุดเด่นหลายประการ ได้แก่ การสื่อสารระยะไกลด้วยพลังงานต่ำ ความยืดหยุ่นในการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีอื่น ประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์

หลากหลายประเภท ความสามารถในการควบคุมแบบเรียลไทม์ และความเหมาะสมกับระบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) โดยเฉพาะในด้านการจัดการเมืองอัจฉริยะ การปรับปรุง โคมไฟถนนแอลอีดีโดยใช้เครือข่ายลอร่า จึงเป็นการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการแสงสว่างในเมือง ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานแล้วยังส่งผลดีต่อการประหยัดพลังงานและส่งเสริมความยั่งยืนในระยะยาว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่กรณีศึกษาสำหรับการปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดี

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงใหม่ เฉพาะพื้นที่ห้วยแก้ว เป็นกรณีศึกษา มีพื้นที่โดยประมาณ 115 ไร่ กั้นกลางด้วยซอยพระนางซึ่งเป็นทางสาธารณะแบ่งเป็นสองส่วนคือฝั่งซ้าย (รูปที่ 1 (ก)) และฝั่งขวา (รูปที่ 1 (ข)) มีจำนวนโคมไฟถนนที่ติดตั้งรวม 90 โคม



(ก) ตำแหน่งของโคมไฟฝั่งซ้าย (ข) ตำแหน่งของโคมไฟฝั่งขวา

รูปที่ 1 ลักษณะของพื้นที่และตำแหน่งติดตั้งของโคมไฟถนน

3.2 โคมไฟถนนแอลอีดีที่ต้องการปรับปรุง

โคมไฟถนนที่ติดตั้งภายในมหาวิทยาลัยทั้งหมดเป็นหลอดแอลอีดี กำลังสูง (High Power LED) ยี่ห้อ LeKise รุ่น Novalux Pro RW-NVL050 ขนาด 50 W ประสิทธิภาพการส่องสว่าง 127 lm/W ลักษณะดังรูปที่ 2 เมื่อติดตั้งแล้วทำให้โคมไฟถนนมีความสูงจากพื้นถนน 5 เมตร

การจ่ายไฟให้กับโคมไฟถนนใช้ตัวขับแอลอีดี (LED Driver) ยี่ห้อ Inventronics รุ่น EUC-052S070 ขนาด 52 W มีพิกัดอินพุต 100-240 Vac, 0.8 A และพิกัดเอาต์พุต 38-75 Vdc,

0.7 A มีขนาดความกว้าง 5 ซม. ยาว 18 ซม. ด้วยโคมไฟถนนที่นำมาปรับปรุงนี้เป็นลักษณะปิด มีพื้นที่ช่องว่างสำหรับติดตั้งตัวขับแอลอีดีขนาดกว้าง 10 ซม. ยาว 34 ซม. ลึก 5 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3 ด้วยข้อจำกัดของขนาดพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องออกแบบให้วงจรควบคุมความส่องสว่างของไฟถนนมีขนาดไม่เกิน 15 ซม. เพื่อให้สามารถติดตั้งภายในช่องว่างของโคมไฟได้อย่างเหมาะสม การคำนึงถึงข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์ในการออกแบบวงจรนี้ถือเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้สามารถนำระบบควบคุมมาประยุกต์ใช้กับโคมไฟถนนเดิมภายในมหาวิทยาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 ลักษณะของโคมไฟถนนแอลอีดีที่ติดตั้ง



รูปที่ 3 ลักษณะของช่องว่างสำหรับติดตั้งตัวขับและอุปกรณ์ควบคุม

3.3 ออกแบบการควบคุมไฟถนนด้วยสถาปัตยกรรมลอร่าแวน

โครงสร้างหลักของสถาปัตยกรรมลอร่าแวน ประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ ได้แก่ อุปกรณ์ปลายทาง (End Device) เกตเวย์ (Gateway) เซิร์ฟเวอร์เครือข่าย (Network Server) และเซิร์ฟเวอร์แอปพลิเคชัน (Application Server) [8] ซึ่งแต่ละส่วนในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังนี้

ในส่วนของอุปกรณ์ปลายทาง คืออุปกรณ์รับส่งคำสั่งจากแม่ข่ายเพื่อควบคุมการทำงานของโคมไฟถนน โดยเลือกเป็นคลาส C เพื่อรองรับข้อมูลจากแม่ข่ายอย่างต่อเนื่อง เพราะโคมไฟ

ถนนใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก งานวิจัยนี้เลือกบอร์ด Lopy4 ของบริษัท PyCom ลักษณะดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 บอร์ดประมวลผลสื่อสารไร้สายลอราที่เลือกใช้

โดยบอร์ดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นตัวประมวลผลหลักและรวมวงจรสื่อสาร LoRa, Sigfox, WiFi, Bluetooth ให้เลือกใช้ ซึ่งในการสื่อสารลอราใช้มอดูล SX1276 ของบริษัท Semtech ส่วนการออกแบบโคมไฟถนนให้สามารถควบคุมความส่องสว่างได้จะใช้เทคนิคการปรับความกว้างของพัลส์ (Pulse Width modulation: PWM) โดยเลือกปรับแรงดันในการขับหลอดแอลอีดี ซึ่งสัญญาณ PWM จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถไปใช้ขับหลอดแอลอีดีกำลังสูงได้โดยตรง จึงเลือกควบคุมสัญญาณ PWM ผ่านมอสเฟต และเลือกมอดูลแบบที่มี optocoupler isolation สำหรับแยกสัญญาณควบคุมออกจากแหล่งจ่ายซึ่งช่วยลดสัญญาณรบกวน มอสเฟตที่เลือกใช้งานงานวิจัยนี้คือเบอร์ FR120N มีพิกัดแรงดันสูงสุด 100 Vdc และกระแสสูงสุด 9.4 A ซึ่งเพียงพอกับตัวขับหลอดแอลอีดีที่มีแรงดันสูงสุด 82 Vdc ได้ ตามรูปที่ 5

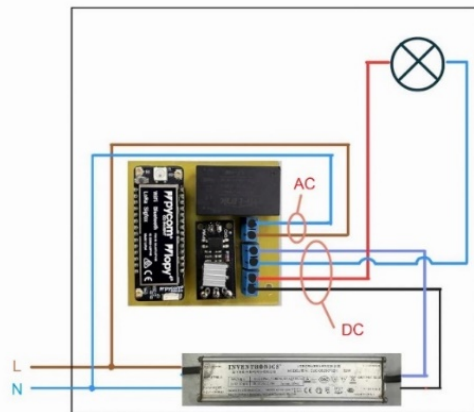


รูปที่ 5 มอดูลมอสเฟต FR120N ที่ใช้ในการปรับสัญญาณ PWM

วงจรควบคุมความส่องสว่างของโคมไฟถนนแอลอีดีที่ปรับปรุงด้วยแนวคิดเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยเครือข่ายลอรา ดังรูปที่ 6 ด้วยต้องการให้มีการบำรุงรักษาต่ำ จึงออกแบบวงจรที่ไม่ซับซ้อนและหาอุปกรณ์ได้ทั่วไป

เมื่อประกอบวงจรบอร์ดควบคุมความส่องสว่างไฟถนนพร้อมกับตัวขับแอลอีดีลงในช่องว่างของโคมไฟถนน ตามรูปที่ 7 จะเห็นว่าสามารถติดตั้งได้โดยไม่ต้องดัดแปลงโคมไฟ ส่วนของเกตเวย์, เซิร์ฟเวอร์เครือข่าย และเซิร์ฟเวอร์แอปพลิเคชัน ที่เป็น

ตัวกลางการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับแม่ข่ายนั้น ได้เลือกใช้มอดูล RAK831 ของบริษัท RAKWireless Technology ซึ่งต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียว Raspberry Pi สำหรับควบคุมและสั่งการผ่านซอฟต์แวร์ ChirpStack เวอร์ชัน 4 ที่เป็นโอเพ่นซอร์ส ซอฟต์แวร์ ChirpStack ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์เครือข่ายลอรา ซึ่งช่วยในการจัดการและควบคุมการสื่อสารของอุปกรณ์ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

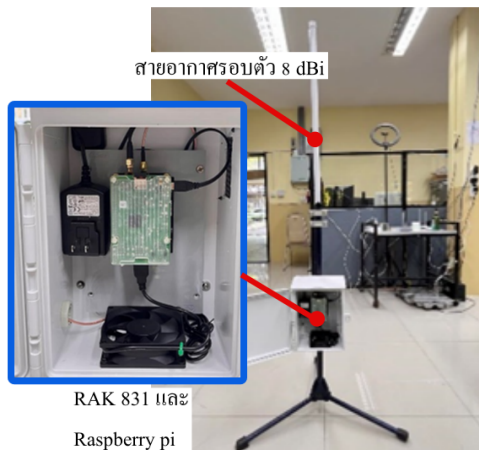


รูปที่ 6 วงจรควบคุมความส่องสว่างของโคมไฟถนนแอลอีดี



รูปที่ 7 โคมไฟที่ปรับปรุงประกอบเข้ากับบอร์ดควบคุม

เพื่อให้การส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ของมหาวิทยาลัย ได้เลือกสายอากาศรอบตัว เกณฑ์ขยาย 8 dBi สำหรับความถี่สัญญาณลอราประเทศไทย AS923 เมื่อประกอบมอดูล RAK831 เข้ากับคอมพิวเตอร์ Raspberry pi และติดตั้งสายอากาศมีลักษณะดังรูปที่ 8 สามารถใช้เพื่อบันทึกค่าเครือข่ายลอราส่วนตัว มีเว็บอินเทอร์เฟซสำหรับการจัดการเกตเวย์ อุปกรณ์ รวมถึงการตั้งค่าการผสมรวมข้อมูลกับผู้ใช้บริการระบบคลาวด์ ฐานข้อมูล ในการจัดการข้อมูลอุปกรณ์



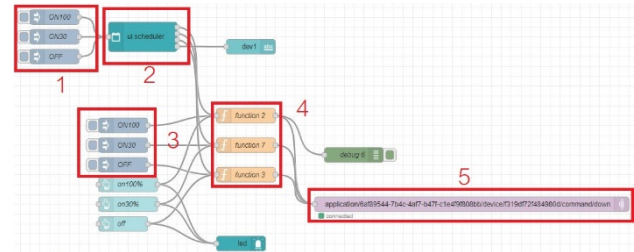
รูปที่ 8 ชุดตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับแม่ข่าย

3.4 การควบคุมการทำงานของโคมไฟถนนด้วย Node-RED

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์และเชื่อมต่อสื่อสารกับชุดตัวกลางเป็นที่เรียบร้อย ส่วนของการควบคุมและตรวจติดตามการทำงานของโคมไฟถนนจะใช้โปรแกรม Node-RED ซึ่งได้ติดตั้งเป็นส่วนเสริมผสมรวมไว้ในเซิร์ฟเวอร์ชุดตัวกลางเชื่อมต่อ โดยจะออกแบบหน้าต่างการควบคุมใน Node-RED ให้สามารถเปิดปิด และลดความส่องสว่างของโคมไฟถนน ลักษณะดังรูปที่ 9 หมายเลขที่ 1 การตั้งค่าใน Node-RED เป็นการตั้งค่าเพื่อควบคุมอุปกรณ์ให้เปิดปิดและหรี่ไฟ โดยมีโหนดที่เป็นคำสั่ง ON100 (เปิดไฟ 100%), ON30 (เปิดไฟ 30%) และ OFF เพื่อสั่งปิดไฟ จากนั้นนำคำสั่งทั้งสามมาใส่ในโหนดที่ชื่อว่า ui scheduler ในหมายเลขที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นไทม์เมอร์เพื่อจัดตารางเวลาที่คำสั่งต่าง ๆ จะทำงานและส่งต่อมายังหมายเลขที่ 4 เพื่อแปลงเป็นภาษาเข้ารหัสเพื่อเตรียมส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ จากนั้นส่งคำสั่งไปยังหมายเลขที่ 5 ซึ่งเป็นตัวอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อ โดยใส่ app_key ของตัวอุปกรณ์เอ็นโหนด ส่วนหมายเลขที่ 3 คือคำสั่งเปิดปิดและหรี่ไฟที่ไม่ได้ผ่านการตั้งไทม์เมอร์ แต่สามารถกดคำสั่งควบคุมหลอดไฟได้โดยตรง

ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการกำหนดเงื่อนไขควบคุมการทำงานของไฟถนนแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมการทำงานของโคมไฟถนนผ่านผู้ควบคุมที่ได้รับสิทธิ์อย่างเหมาะสม โดยผู้ควบคุมสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานหรือดำเนินการควบคุมผ่านเว็บอินเทอร์เฟซ ซึ่ง

ช่วยให้ทราบสถานะการทำงานของโคมไฟถนนและระดับความส่องสว่างที่ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 9 ระบบควบคุมโคมไฟถนนโดยใช้ Node-RED

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การทดสอบควบคุมโคมไฟแอลอีดีที่ปรับปรุง

เพื่อทดสอบการทำงานของโคมไฟถนนแอลอีดีที่ได้ปรับปรุงขึ้น มีการกำหนดบอ์นค่าสั่งให้โคมไฟแอลอีดีทำงานผ่านเครือข่ายลอร่า โดยกำหนดค่าวัฏจักรการทำงาน (duty cycle) ที่ 100% เพื่อให้โคมไฟทำงานส่องสว่างเต็มที่ และค่าวัฏจักรการทำงานที่ 30% ซึ่งโคมไฟมีค่าส่องสว่างเพียงพอต่อการใช้งาน [9] จากนั้นทำการเชื่อมต่อเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy meter) ยี่ห้อ KEPLER รุ่น KP-835 เข้ากับโคมไฟถนน เพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า หลังจากนั้นวัดค่าความส่องสว่างที่ผิวถนนในระยะห่างใต้โคมไฟ 5 เมตร ซึ่งเป็นระยะห่างติดตั้งของโคมไฟกับพื้นผิวถนน ด้วยเครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (lux meter) ยี่ห้อ CEM รุ่น DT-1309 สำหรับแต่ละค่าวัฏจักรการทำงาน ผลลัพธ์การทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 1 ผลการทดลองนี้จะช่วยยืนยันความสามารถในการปรับความสว่างและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโคมไฟแอลอีดีที่ปรับปรุงใหม่

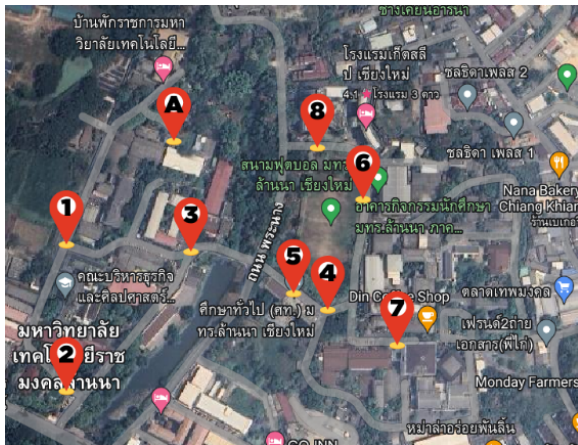
ตารางที่ 1 ผลการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและความส่องสว่างที่ค่าวัฏจักรการทำงาน 2 ระดับ

วัฏจักรการทำงาน (%)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความส่องสว่าง (lux)
100	0.21	45.7	68
30	0.18	32.6	26

ผลจากการทดสอบเห็นได้ว่าที่ที่วัฏจักรการทำงาน 30% มีค่าความส่องสว่าง 26 lux ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานความเข้มการส่องสว่างในแนวราบต่ำสุดของกรมทางหลวงที่ 13 lux โดยเทียบเคียงถนนภายในมหาวิทยาลัยมีสภาพการสัญจรใกล้เคียงกับถนนทางหลวงสายรองพื้นที่ในเมือง [10]

4.2 การทดสอบรับส่งข้อมูลเครือข่ายลอร่า

เพื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลคำสั่งของโคมโไฟถนนแอลอีดีที่ได้ปรับปรุงขึ้นได้กำหนดติดตั้งชุดตัวกลางควบคุมไฟถนนไว้ที่ตาดฟ้าของอาคาร 4 ชั้น ในตำแหน่ง A (ในรูปที่ 10) จากนั้นติดตั้งโคมไฟต้นแบบที่ตำแหน่งหมายเลขต่างๆ ดังนี้ หมายเลข 1 ถึง 6 เป็นตำแหน่งที่มีการสัญจรมากหรือเป็นทางร่วม ส่วนหมายเลข 7 เป็นตำแหน่งติดตั้งโคมโไฟถนนที่ห่างจากชุดตัวกลางมากที่สุด และหมายเลข 8 เป็นตำแหน่งโคมโไฟที่อยู่ด้านหลังมหาวิทยาลัย โดยตำแหน่งหมายเลข 1 ถึง 8 เป็นไปตามรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตำแหน่งโคมโไฟถนนที่ทำการทดสอบรับส่งข้อมูล

ผลการรับส่งข้อมูลและคุณภาพของสัญญาณในตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 8 เป็นไปตามตารางที่ 2 โดยจำนวนการส่งและการรับข้อมูลที่เวิร์กเวิร์กได้ในส่วนของการวัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength Indicator : RSSI) และค่าของอัตราส่วนสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น (Signal to Noise Ratio : SNR) นั้นพบว่าตำแหน่งที่ 7 ที่มีระยะทางห่างจากชุดตัวกลางมากที่สุด มีค่า RSSI และค่า SNR ต่ำที่สุด เนื่องจากมีอาคารบังสัญญาณจากศูนย์สั่งการ

เมื่อส่งคำสั่งการเปิดและปิดจำนวน 5 ครั้ง และคำสั่งลดความส่องสว่างของโคมโไฟ 5 ครั้ง พบว่าในแต่ละตำแหน่งที่ติดตั้งโคมโไฟถนนแอลอีดีที่ปรับปรุงทั้ง 8 ตำแหน่งนั้นทำงานครบเงื่อนไขถูกต้องทั้ง 10 ครั้ง

ตารางที่ 2 ผลการรับส่งข้อมูลและคุณภาพของสัญญาณในตำแหน่งที่ติดตั้ง

ตำแหน่ง	ระยะทาง (เมตร)	RSSI (dBm)	SNR (dB)
1	200	-89	11.00
2	300	-90	8.90
3	120	-89	10.00
4	250	-84	9.25
5	200	-88	9.25
6	240	-82	10.00
7	350	-98	5.50
8	170	-96	9.50

4.3 กำหนดฉากเหตุการณ์การใช้พลังงานของโคมโไฟถนน

ในหัวข้อนี้เป็นการคำนวณค่าไฟฟ้าหากนำโคมโไฟถนนแอลอีดีควบคุมด้วยเครือข่ายลอร่าไปใช้งานภายในมหาวิทยาลัยทั้งหมด 90 โคม โดยใช้ตัวกลาง 1 ตัว สำหรับสื่อสารและส่งคำสั่งให้กับโคมโไฟทั้งหมด ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดฉากเหตุการณ์ (scenario) ใน 1 วัน เป็น 3 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ให้เปิดใช้งานโคมโไฟถนนที่ค่าวัฏจักรการทำงาน (duty cycle) 100% ตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 06.00 น. รวม 12 ชั่วโมง

กรณีที่ 2 ให้เปิดใช้งานโคมโไฟถนนที่ค่าวัฏจักรการทำงาน (duty cycle) 100% ตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 21.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้งานถนนเพื่อสัญจร ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และเปิดใช้งานที่ค่าวัฏจักรการทำงาน 30% ตั้งแต่เวลา 21.00 น. ถึง 06.00 น. เป็นช่วงเวลาที่มีการสัญจรลดลง เป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมง รวม 12 ชั่วโมง

กรณีที่ 3 เปิดใช้งานโคมโไฟถนนโดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด สลับโคมโไฟกันทั้งหมดทั้งพื้นที่ โดยชุดแรก 45 โคม ให้มีค่าวัฏจักรการทำงาน 100% ตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 21.00 น. เป็น

ระยะเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นปรับค่าวัฏจักรการทำงานเป็น 30% ตั้งแต่เวลา 21.00 น. ถึง 06.00 น. เป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมง ส่วน โคมไฟถนนชุดที่ 2 อีก 45 โคม มีค่าวัฏจักรการทำงาน 30% ตั้งแต่เวลา 18.00 น. ถึง 06.00 น. เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่ง การคำนวณเวลาจุดคุ้มทุนของแต่ละฉากเหตุการณ์ตามสมการที่ (1) โดยต้นทุนการปรับปรุงโคมไฟแอลอีดีคิดเฉพาะค่าอุปกรณ์ และค่าแรงติดตั้ง

$$\text{เวลาจุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนการปรับปรุงโคมไฟแอลอีดี (บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)}} \quad (1)$$

ซึ่งในงานวิจัยนี้ประเมินต้นทุนในการปรับปรุงโคมไฟถนน แอลอีดีควบคุมด้วยเครือข่ายลอราที่มีมูลค่าต้นทุนทั้งหมดประมาณ 40,000 บาท และราคาค่าไฟฟ้าอ้างอิงจากประกาศการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค เรื่องโครงสร้างอัตราค่าไฟใหม่ ประกาศ ณ วันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ.2565 ได้กำหนดอัตราปกติของผู้ใช้ไฟประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง แรงดัน 22-33 kV ค่าพลังงานไฟฟ้า 3.1471 บาท/หน่วย เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของแต่ละฉาก เหตุการณ์ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คำนวนค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้และเวลาจุดคุ้มทุนของแต่ละฉากเหตุการณ์

	ฉากเหตุการณ์		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 ปี (356วัน)	18,067.50 (kWh)	14,125.50 (kWh)	13,468.50 (kWh)
ค่าไฟฟ้าต่อปี	56,860.23 (บาท)	44,454.36 (บาท)	42,386.72 (บาท)
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด	-	12,405.87 (บาท)	14,473.51 (บาท)
ร้อยละของค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	-	21.82%	25.45%
เวลาจุดคุ้มทุน	-	3 ปี 2 เดือน	2 ปี 9 เดือน

เห็นได้ว่าหากโคมไฟถนนแอลอีดีแบบเดิมเปิดใช้งานด้วยเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน จะเสียค่าไฟฟ้า 56,860.23 บาท/ปี ดังนั้น โคมไฟถนนที่ปรับปรุงและมีการทำงานตามฉากเหตุการณ์ในกรณี ที่ 2 สามารถประหยัดค่าไฟได้ 12,405.87 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ

ที่ประหยัดได้ 21.82% หากคิด จะได้เวลาจุดคุ้มทุนที่ 3 ปี 2 เดือน แต่หากมีการควบคุมการทำงานตามฉากเหตุการณ์ในกรณี ที่ 3 ก็สามารถประหยัดค่าไฟเพิ่มเป็น 14,473.51 บาท/ปี คิด เป็นร้อยละที่ประหยัดได้ 25.45% หากคิด และเวลาจุดคุ้มทุนลด เหลือที่ 2 ปี 9 เดือน

4.4 อภิปรายผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยที่ต้องการควบคุมและติดตามการ ทำงานของโคมไฟถนนด้วยเครือข่ายลอรา (LoRaWAN) แบบ ส่วนตัว ระบบที่นำเสนอสามารถควบคุมการทำงานและปรับ ความส่องสว่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยที่ ยังคงความปลอดภัย จากสมมติฐานที่ว่าโคมไฟถนนแอลอีดีที่ ควบคุมด้วยเครือข่ายลอราสามารถปรับความสว่างได้และ ประหยัดพลังงานได้มากกว่าโคมไฟแบบเดิม ได้รับการยืนยันจาก ผลการทดสอบในตารางที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโคมไฟที่ปรับปรุง สามารถปรับความสว่างได้ตามต้องการและประหยัดพลังงานได้ สูงสุดถึง 25.45% เมื่อเทียบกับแบบเดิม ทั้งนี้เป็นผลมาจากระบบ ควบคุมผ่านเครือข่ายลอราที่ช่วยให้สามารถปรับระดับความสว่าง ได้ตามความเหมาะสมของช่วงเวลาและสภาพการใช้งาน โดยที่ ระดับความสว่าง 30% ยังคงให้แสงสว่างเพียงพอตามมาตรฐาน (26 lux ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานขั้นต่ำ 13 lux) ในขณะที่ใช้พลังงาน น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล และคณะ [2] ที่พบว่าการพัฒนาชุด ควบคุมแสงสว่างแบบชาญฉลาดสำหรับดวงโคมไฟถนนหลอด ไดโอดเปล่งแสงสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tung และคณะ [3] ที่ พบว่าการพัฒนาและติดตั้งระบบไฟถนนอัจฉริยะโดยใช้ เทคโนโลยีลอราสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมและ ประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าในการปรับปรุงโคมไฟแอลอีดี ควบคุมด้วยเครือข่ายลอรา สามารถควบคุมการทำงานและปรับ ความส่องสว่างไฟถนนได้จากระยะทางไกลได้จริง มีรายละเอียด เป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงโคมไฟกับที่ไม่ได้ปรับปรุง

	โคมไฟถนนเดิม	โคมไฟถนนที่ปรับปรุง
การควบคุมการทำงาน	ใช้โฟโตเซลล์ไม่ สามารถควบคุม เป็นรายโคมได้	ใช้เครือข่ายลอรา ควบคุม การเปิดปิด ควบคุมการ ส่องสว่างได้
การตรวจติดตามการทำงาน	ไม่มี	สามารถดูการทำงานผ่าน เว็บไซต์ได้ในแต่ละโคม
การประหยัดพลังงาน	ไม่มี	ประหยัดได้กว่า 25.45%

โดยการปรับปรุงโคมไฟนี้มีวงจรไม่ซับซ้อน และการบำรุงรักษาต่ำ แต่อาจมีบางตำแหน่งที่ติดตั้งโคมไฟถนนมีข้อจำกัดสัญญาณรบกวนซึ่งเป็นผลมาจากการบังสัญญาณของอาคาร ซึ่งปัญหานี้แก้ไขได้เบื้องต้นโดยการเพิ่มความสูงการติดตั้งของสายอากาศตัวกลางเชื่อมต่อ หรือพิจารณาตำแหน่งติดตั้งตัวกลางเชื่อมต่อที่เหมาะสม ส่วนระยะเวลาจุดคุ้มทุนของโคมไฟถนนที่ปรับปรุงสามารถใช้ระยะเวลาสั้นกว่าจากเหตุการณ์ที่กำหนดไว้ได้ด้วยการใช้มาตรการอื่นประกอบ เช่น เมื่อไม่มีการสัญจรก็สั่งให้ปิดโคมไฟถนนในบริเวณที่ไม่จำเป็น หรือสั่งปิดโคมไฟให้คงไว้เฉพาะโคมส่องสว่างสำหรับรักษาความปลอดภัย เป็นต้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และไม่กระทบกับการใช้งานโคมไฟถนนภายในมหาวิทยาลัย

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้ การทดสอบครั้งต่อไปเพิ่มพื้นที่ที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ถนนในเขตเมือง ชานเมือง หรือชนบท เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน การศึกษาระยะยาวเกี่ยวกับความทนทานและอายุการใช้งานของระบบ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจำเป็นต้องมีเพื่อให้เห็นภาพรวมของมูลค่าในการลงทุนที่ชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การพัฒนาระบบควบคุมที่ซับซ้อนขึ้น เช่น การปรับความสว่างแบบไดนามิกตามสภาพการจราจรหรือสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ด้วยเซ็นเซอร์ การศึกษาผลกระทบด้านความปลอดภัยของการปรับลดความสว่างในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อให้มั่นใจว่าการประหยัดพลังงานไม่ส่งผลเสียต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน

และการบูรณาการระบบควบคุมโคมไฟถนนนี้กับระบบอัจฉริยะอื่นๆ ในเมือง เช่น ระบบจัดการจราจรหรือระบบเฝ้าระวังความปลอดภัย ควรได้รับการพิจารณาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการเมืองโดยรวม อีกทั้งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบควบคุมนี้ เพื่อเพิ่มความยั่งยืนและลดการพึ่งพาพลังงานจากระบบไฟฟ้าหลัก สุดท้ายนี้ควรมีการพัฒนาแนวทางและคู่มือสำหรับการนำระบบนี้ไปใช้ในวงกว้าง รวมถึงการฝึกอบรมบุคลากรที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากกองพัฒนาอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ได้ให้การสนับสนุนโคมไฟถนนเพื่อใช้ในการจัดทำต้นแบบสำหรับการปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดีด้วยเครือข่ายลอรา นอกจากนี้ ยังขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นในการดำเนินการวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] จรรยาพร จันทะขำนิ. *การพัฒนาระบบควบคุมและแจ้งเตือนระยะไกลเพื่อการซ่อมบำรุงไฟส่องสว่างถนนโดยใช้ลอรา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2565.
- [2] อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล ชัยยันต์ เจนาแสน และชานนท์ วรรณสาร. *การพัฒนาชุดควบคุมแสงสว่างแบบชาญฉลาดเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับดวงโคมไฟถนนหลอดไดโอดเปล่งแสงในระบบแสงสว่างไฟถนน*. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.
- [3] N. T. Tung, L. M. Phuong, N. M. Huy, N. Hoai Phong, T. L. Dinh Huy and N. Dinh Tuyen, "Development and Implementation of Smart Street Lighting System based on Lora Technology". *International*

Symposium on Electrical and Electronics

Engineering (ISEE 2019).25-28 August. Ho Chi Minh City, Vietnam : pp. 328-333, 2019.

- [4] Ashish, K., Jha., “Smart Lighting System Using LoRa WAN Technology,” *International Journal of Engineering and Manufacturing.*, Vol. 12 (1), pp. 48-53 ,2022. doi: 10.5815/ijem.2022.01.05
- [5] Krystian et al., “An Autonomous City-Wide Light Pollution Measurement Network System Using LoRa Wireless Communication,” *Sensors.*, Vol. 23 (11), pp. 5084, 2023. doi: 10.3390/s23115084
- [6] Ayanle et al., “Development and performance analysis of a ZigBee and LoRa-based smart building sensor network,” *Frontiers in Energy Research.*, Vol. 10, pp. 1-13, 2022. doi: 10.3389/fenrg.2022.933743
- [7] Rajesh et al., “Long range and server inspired internet of smart street lights,” *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics.*, Vol. 12 (1), pp. 493-501, 2023. doi:10.11591/eei.v12i1.4044
- [8] M, Kanthi., Ravilla, Dilli, “Smart streetlight system using mobile applications: secured fault detection and diagnosis with optimal power,” *Wireless networks.*, Vol. 29, pp. 2015-2028, 2023. doi: 10.1007/s11276-023-03278-9
- [9] ณรงค์ นันทกุล. “การปรับปรุงโคมไฟถนนแอลอีดีสำหรับระบบบริหารจัดการพลังงาน”. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15. 1-3 พฤษภาคม. โรงแรมฟอร์จูนริเวอร์วิว นครพนม* : 610-613, 2566.
- [10] กรมทางหลวง. *ข้อกำหนดและมาตรฐานทั่วไป งานติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างบนทางหลวง*. กรุงเทพฯ : กรมทางหลวง, 2554.